

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11) EP 1 065 475 A2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
03.01.2001 Patentblatt 2001/01

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: G01F 1/68

(21) Anmeldenummer: 00110012.2

(22) Anmeldetag: 12.05.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:  
• Mayer, Felix  
8057 Zürich (CH)  
• Lechner, Moritz  
8057 Zürich (CH)

(30) Priorität: 31.05.1999 CH 101599

(71) Anmelder: Sensirion AG  
8052 Zürich (CH)

(74) Vertreter:  
Blum, Rudolf Emil Ernst et al  
c/o E. Blum & Co  
Patentanwälte  
Vorderberg 11  
8044 Zürich (CH)

(54) **Verfahren zum Messen eines Gasflusses**

(57) Zur Messung eines Gasflusses wird ein Gas über einen Sensor (1) geführt. Der Sensor (1) besitzt eine dünne Membran (4), auf der ein Heizelement (5) und Temperatursensoren (6, 7) angeordnet sind. Mit den Temperatursensoren werden insgesamt drei Tem-

peraturdifferenzen gemessen und in geeigneter Weise verknüpft. So entsteht ein Messsignal, welches im wesentlichen unabhängig von der Membrandicke (d) bzw. allfälligen Verschmutzungen ist.

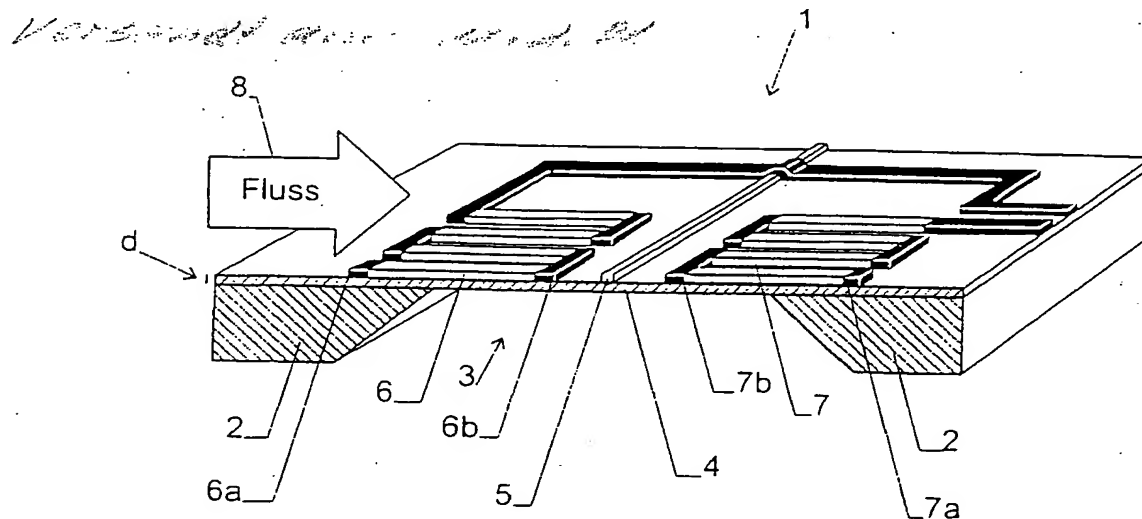


Fig. 1

EP 1 065 475 A2

## B schreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen eines Gasflusses gemäss Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Für eine derartige Messung wird in einem bekannten Verfahren das Gas über einen Sensor geführt. Der Sensor besitzt eine Membran, auf der ein Heizelement angeordnet ist, welches sich im wesentlichen senkrecht zum Gasfluss erstreckt. In Gasflussrichtung vor und hinter dem Heizelement sind Temperatursensoren vorgesehen, die eine Temperaturdifferenz messen. Diese Temperaturdifferenz ist abhängig vom Gasfluss und wird in ein entsprechendes Messsignal umgewandelt.

[0003] Ein Nachteil derartiger Anordnungen bzw. Verfahren liegt darin, dass das Messsignal stark vom Membranzustand und insbesondere von Verunreinigungen der Membran abhängt.

[0004] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art bereitzustellen, bei welchem ein Messsignal gewonnen wird, welches in geringerem Masse vom Membranzustand abhängt.

[0005] Diese Aufgabe wird vom Verfahren gemäss Anspruch 1 gelöst.

[0006] Der Erfindung liegt unter anderem die Erkenntnis zugrunde, dass die Verschmutzungen die Dicke bzw. thermische Leitfähigkeit der Membran beeinflussen, so dass die gemessene Temperaturdifferenz bei zunehmender Dicke bzw. Verschmutzung der Membran abnimmt. Um diesen Effekt zu kompensieren, wird mindestens eine zweite Temperaturdifferenz gemessen, die in unterschiedlicher Weise von Fluss und Membrandicke abhängt. Durch Verknüpfen der mindestens zwei Temperaturdifferenzen ist es sodann möglich, ein Messsignal zu erzeugen, welches in geringerem Masse oder gar nicht von der Membrandicke bzw. Verschmutzung abhängt.

[0007] Vorzugsweise werden zwei weitere Temperaturdifferenzen gemessen, vorzugsweise eine davon vor und die andere nach dem Heizelement. Diese können sodann z.B. zueinander addiert werden, so dass ein resultierendes Signal entsteht, welches in erster Linie von der Dicke bzw. Verschmutzung der Membran abhängt, aber nur wenig vom Gasfluss. Diese Summe kann sodann mit der ersten Temperaturdifferenz verrechnet werden. Besonders gute Resultate ergeben sich aus einer Division der ersten Temperaturdifferenz durch eine geeignete Potenz der Summe.

[0008] Besonders vereinfacht wird die Messung, wenn die erste Temperaturdifferenz mit zwei Thermoelementen gemessen wird, und die gleichen Thermoelemente auch verwendet werden, um die zweite und ggf. die dritte Temperaturdifferenz zu messen.

[0009] Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich insbesondere für die Messung von Flüssigkeiten in Gaszählern oder dergleichen.

[0010] Weitere bevorzugte Aspekte der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen sowie aus der nun folgenden Beschreibung anhand der Figuren. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführung eines Sensors zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens,

Fig. 2 die Abhängigkeit der ersten Temperaturdifferenz vom Gasfluss für verschiedene Dicken (Verschmutzungsgrade) der Membran, wobei die Verschmutzung durch zunehmend dicke Schichten von Photoresist-Lack erzeugt wurde (A: ohne Verschmutzung, B: ca. 2 µm Fotolack, C: ca. 3 µm, D: ca. 5 µm, E: ca. 8 µm),

Fig. 3 die Abhängigkeit einer korrigierten Grösse vom Gasfluss für die verschiedenen Dicken (Verschmutzungsgrade) gemäss Fig. 2 und

Fig. 4 die Abhängigkeit der ersten Temperaturdifferenz vom Gasfluss für verschiedene Dicken (Verschmutzungsgrade) der Membran, wobei die Verschmutzung durch zunehmend dicke Schichten von Acrylharz-Lackfarbe erzeugt wurde (A: ohne Verschmutzung, B: ca. 3 µm Acrylharz-Lackfarbe, C: ca. 6 µm, D: ca. 8 µm, E: ca. 10 µm),

Fig. 5 die Abhängigkeit einer korrigierten Grösse vom Gasfluss für die verschiedenen Dicken (Verschmutzungsgrade) gemäss Fig. 4 und

Fig. 6 eine zweite Ausführung eines Sensors zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens.

[0011] Fig. 1 zeigt einen Sensor, wie er z.B. ausführlich in „Scaling of Thermal CMOS Gas Flow Microsensors: Experiment and Simulation“ von F. Mayer et al, in Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems (IEEE, 1996), pp. 116ff beschrieben wird.

[0012] Der Sensor 1 ist auf einem Silizium-Einkristall 2 angeordnet, in welchem eine Öffnung bzw. Vertiefung 3 ausgeätzt wurde. Die Öffnung bzw. Vertiefung 3 wird von einer Membran 4 aus einem Dielektrikum überspannt. Auf der Membran 4 ist ein Widerstands-Heizelement 5 angeordnet. Symmetrisch zum Heizelement 5 sind zwei Thermoelemente 6, 7 vorgesehen, die als Temperatursensoren dienen. Die Thermoelemente 6, 7 und das Heizelement 5 liegen so zur Richtung des Gasflusses 8, dass das Gas zuerst das erste Thermoelement 6, dann das Heizelement 5 und schliesslich das zweite Thermoelement 7 überstreicht. Auf dem Silizium-Einkristall 2 ist ferner eine Auswerteschaltung, vorzugsweise in CMOS-Technik, vorgesehen (nicht gezeigt), mit welcher die Signale der Temperatursensoren verarbeitet und in ein Messsignal umgewandelt werden.

[0013] Jedes Thermoelement misst eine Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$  bzw.  $\Delta T_3$  zwischen seinen Kontakten bzw. Kontaktreihen 6a, 6b bzw. 7a, 7b. Da die äusseren Kontaktreihen 6a und 7a über den Einkristall 2 ther-

misch kurzgeschlossen sind, liegen sie auf gleicher Temperatur. Somit ergibt sich aus der Differenz zwischen  $\Delta T_2$  und  $\Delta T_3$  die Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  zwischen den beiden inneren Kontaktreihen 6b und 7b vor und nach dem Heizelement 5.

[0014] Im Betrieb des Geräts wird das Heizelement von einem Strom durchflossen und erwärmt. Je nach Anwendung kann es z.B. auf eine feste Leistung, eine vorgegebene Temperatur, einen vorgegebenen Strom oder eine vorgegebene Spannung geregelt werden. Es ist auch möglich, das Heizelement gepulst zu betreiben.

[0015] Die erste Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  zwischen den Kontaktreihen 6b und 7b ist eine Funktion des zu messenden Gasflusses F. Sie hängt aber auch davon ab, wieviel Wärme in der Membran 4 vom Heizelement 5 zu den Kontakten 6b und 7a abgeleitet wird. Somit ist sie eine Funktion der effektiven Dicke d der Membran 4. Diese effektive Dicke d ergibt sich aus der eigentlichen Dicke der Membran 4 selbst und der Dicke der Schmutzschicht, die auf der Membran 4 liegt. Im folgenden wird die effektive Dicke zur Vereinfachung als Dicke d der Membran bezeichnet.

[0016] Da die erste Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  nicht nur vom Fluss F, sondern auch von der Dicke d abhängt, führt eine Verschmutzung der Membran zu einer Verfälschung des Messresultats, wenn dieses direkt aus  $\Delta T_1$  abgeleitet wird. Deshalb wird im erfindungsgemässen Verfahren eine Korrektur durchgeführt, welche im folgenden an einigen Beispielen beschrieben wird.

[0017] In einer bevorzugten Ausführung werden die Temperaturdifferenzen  $\Delta T_2$  und  $\Delta T_3$  für eine Korrektur verwendet. Diese beiden Werte sind nämlich ebenfalls von der Dicke d der Membran 4 und vom Gasfluss abhängig, jedoch in anderer Weise als die erste Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$ . Somit kann durch geeignete mathematische Kombination der Werte  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$  und  $\Delta T_3$  ein Signal S gewonnen werden, dass nur noch geringfügig oder gar nicht von der Dicke d abhängt. Es zeigt sich, dass das Signal S vorzugsweise ermittelt wird aus

$$S = f(\Delta T_1, \Delta T_2 + \Delta T_3). \quad (1)$$

[0018] Die Temperaturdifferenzen  $\Delta T_2$  und  $\Delta T_3$  gehen also als Summe in die Korrektur ein. Es zeigt sich, dass die Grösse  $\Delta T_2 + \Delta T_3$  in geringerem Masse vom Gasfluss F abhängt als die Temperaturdifferenzen  $\Delta T_2$  und  $\Delta T_3$  und sich somit besser für eine Korrektur der Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  eignet.

[0019] Die Korrekturfunktion f umfasst vorzugsweise eine Multiplikation der beiden Argumente in geeigneter Potenz. Insbesondere erweist sich die folgende Korrekturfunktion als geeignet:

$$S = f(\Delta T_1 \cdot (\Delta T_2 + \Delta T_3)^k) \quad (2)$$

[0020] Da sowohl der Wert von  $\Delta T_1$ , als auch jener von  $\Delta T_2 + \Delta T_3$  mit zunehmender Membrandicke abnehmen, wird der Exponent k in der Regel negativ sein. Es

zeigt sich, dass ein Wert von ca. -5 besonders gute Resultate liefert.

[0021] Dies wird durch die Messkurven in Fig. 2 bis 5 illustriert. Die Figuren 2 und 4 zeigen den Wert der ersten Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  in Abhängigkeit des Gasflusses für verschiedene Dicken bzw. Verschmutzungsgrade der Membran. Wie es sich hieraus zeigt, nimmt der Wert von  $\Delta T_1$  mit zunehmender Membrandicke (bzw. zunehmendem Verschmutzungsgrad) ab. Die Messungen zu Fig. 2 und 3 wurden erzeugt, indem auf den Sensor zunehmend dickere Schichten von Fotoresist-Lack aufgebracht wurden, jene von Fig. 4 und 5 durch Aufbringen zunehmend dickerer Schichten von Acrylharz-Lackfarbe.

[0022] In den Figuren 3 und 5 werden die entsprechenden Kurven für den Wert

$$\Delta T_1 / (\Delta T_2 + \Delta T_3)^5$$

dargestellt. Wie es sich zeigt, ist dieser Wert nur noch gering von der Verschmutzung abhängig und zeigt zudem eine bessere Linearität zum Gasfluss.

[0023] Je nach Geometrie und Ausgestaltung des Sensors kann der Idealwert für den Exponenten k unter Umständen auch andere Werte annehmen. Es ist auch denkbar, dass eine Korrektur gemäss Gleichung (2) nicht ausreicht und dass andere Korrekturformeln oder geeignete Eich Tabellen verwendet werden müssen.

[0024] In der Ausführung nach Fig. 2 wurden die Thermoelemente 6, 7 verwendet, um alle drei Temperaturdifferenzen zu messen. Es ist jedoch auch denkbar, die zweite und gegebenenfalls die dritte Temperaturdifferenz mit einem oder mehreren separaten Temperatursensoren zu ermitteln.

[0025] Eine entsprechende Ausführung des Sensors ist in Fig. 6 dargestellt. Hier ist in einem Randbereich der Membran 4 ein weiteres Thermoelement angeordnet. Es misst die Temperaturdifferenz zwischen seinen Kontaktpunkten 10a und 10b. In dieser Ausführung erstreckt es sich quer zur Richtung des Gasflusses 8 über die Grenze 11 der Membran hinaus. Die von diesem Thermoelement gemessene Temperaturdifferenz  $\Delta T_2'$  ist deshalb im wesentlichen unabhängig vom Gasfluss F und ergibt sich direkt aus der Heizleistung des Heizelements 5 und der Dicke d der Membran bzw. aus dem entsprechenden Temperaturgradienten in der Membran.

[0026] Entsprechend Gleichung (2) wird bei dieser Ausführung der Erfindung z.B. die folgende Korrektur verwendet:

$$S = f'(\Delta T_1 \cdot (\Delta T_2')^k), \quad (3)$$

Wiederum mit  $k < 0$ .

[0027] In einer bevorzugten Ausführung wird aus dem Messsignal S direkt der gesuchte Fluss F ermittelt. Es ist jedoch auch denkbar, dass der Fluss F in konventioneller Weise nur aus der ersten Temperaturdifferenz

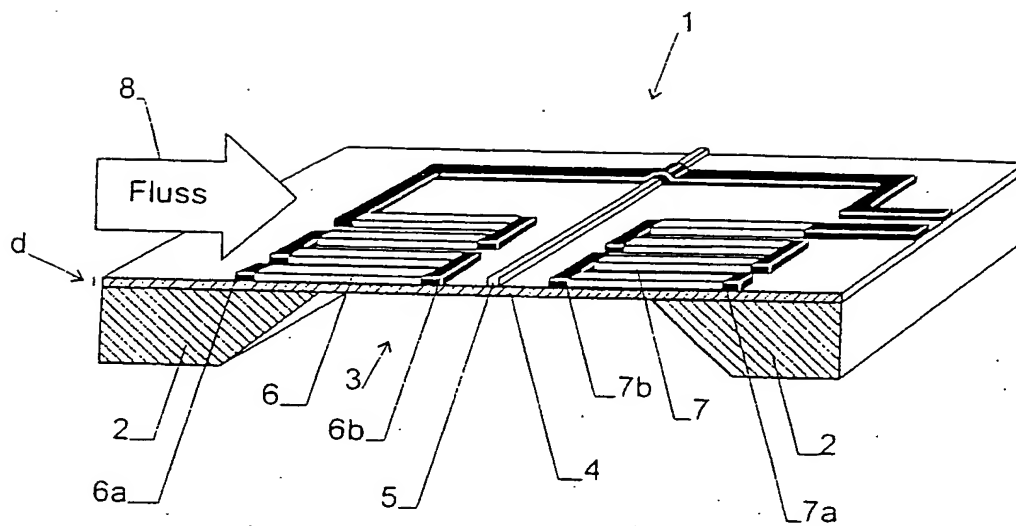


Fig. 1

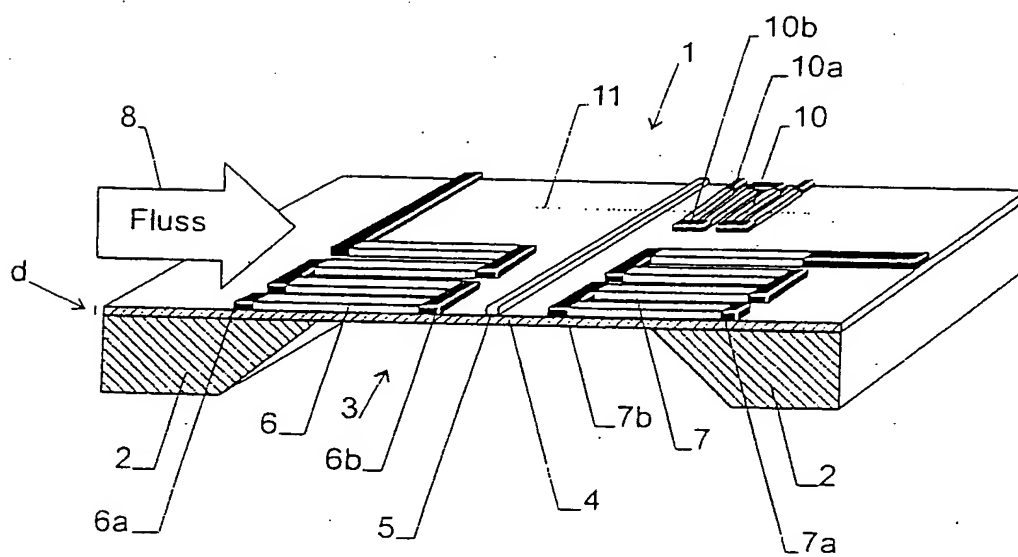


Fig. 6

$\Delta T_1$  und einer geeigneten Eichfunktion bestimmt wird, wobei jedoch mittels Eichmessungen gemäss Gleichung (1) der so erhaltene Wert periodisch geprüft und die Eichfunktion nötigenfalls angepasst wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen eines Gasflusses (F), bei welchem ein Gas über einen Sensor geführt wird, welcher eine Membran (4) aufweist, auf welcher ein Heizelement (5) und Temperatursensoren (6, 7) angeordnet sind, und mit den Temperatursensoren (6, 7) eine erste Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  vor und nach dem Heizelement (5) gemessen wird, wobei die erste Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  in einer ersten Weise vom Gasfluss (F) und von der Dicke (d) der Membran abhängt, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zur ersten Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  mindestens eine zweite Temperaturdifferenz ( $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$ ;  $\Delta T_2$ ) gemessen wird, welche in einer zweiten, von der ersten unterschiedlichen Weise vom Gasfluss (F) und von der Dicke (d) der Membran abhängt, und dass die beiden Temperaturdifferenzen miteinander verrechnet werden um ein Messsignal (S) zu erzeugen, welches weniger als die erste und die zweite Temperaturdifferenz von der Dicke (d) bzw. der Verschmutzung der Membran abhängig ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zur ersten Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  eine zweite und eine dritte Temperaturdifferenz  $\Delta T_2$  bzw.  $\Delta T_3$  gemessen werden, und insbesondere dass die zweite Temperaturdifferenz vor dem Heizelement und die dritte Temperaturdifferenz nach dem Heizelement gemessen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsignal S erzeugt oder überprüft wird, indem die erste Temperaturdifferenz mit der Summe der zweiten und der dritten Temperaturdifferenz verrechnet wird gemäss

$$S = f(\Delta T_1, \Delta T_2 + \Delta T_3).$$

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsignal S erzeugt oder überprüft wird mittels

$$S = f(\Delta T_1 \cdot (\Delta T_2 + \Delta T_3)^k),$$

insbesondere mit  $k < 0$ , vorzugsweise  $k$  ca. -5.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Temperaturdifferenz  $\Delta T_1$  mit zwei Thermoelementen (6, 7) gemessen wird, wobei jedes der zwei Thermoelemente (6, 7) je einen Kontakt bzw. eine Kontakt-

reihe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus haben und je einen Kontakt bzw. eine Kontaktreihe (6a, 7a) auf im wesentlichen gleichem Temperaturniveau haben, und dass die mindestens eine zweite Temperaturdifferenz ( $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$ ) eine Temperaturdifferenz über mindestens einem der Thermoelemente (6, 7) ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (4) über einer Öffnung (3) eines Halbleiterkörpers (2) aufgespannt ist, wobei die Thermoelemente (6, 7) je einen Kontakt bzw. eine Kontaktreihe (6a, 7a) auf dem Halbleiterkörper besitzen und je einen Kontakt bzw. eine Kontaktreihe (6b, 7b) vor bzw. hinter dem Heizelement (5).
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (4) über einer Öffnung (3) eines Halbleiterkörpers (2) aufgespannt, und das Messsignal in einer Messelektronik ermittelt wird, welche auf dem Halbleiterkörper integriert ist.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizelement (5) mit konstanter Leistung, konstanter Temperatur, konstanter Spannung oder konstantem Strom betrieben wird, oder dass das Heizelement gepulst betrieben wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Membran (2) mindestens zwei Temperatursensoren (6, 7) zur Messung der ersten Temperaturdifferenz vorgesehen sind, und dass zusätzlich mindestens ein weiterer Temperatursensor (10) zur Messung der mindestens einen zweiten Temperaturdifferenz vorgesehen ist.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine zweite Temperaturdifferenz im Bereich der Membran (2) gemessen wird, und insbesondere dass die zweite Temperaturdifferenz von einem Temperaturgradienten auf der Membran im wesentlichen senkrecht zum Gasfluss abhängt.

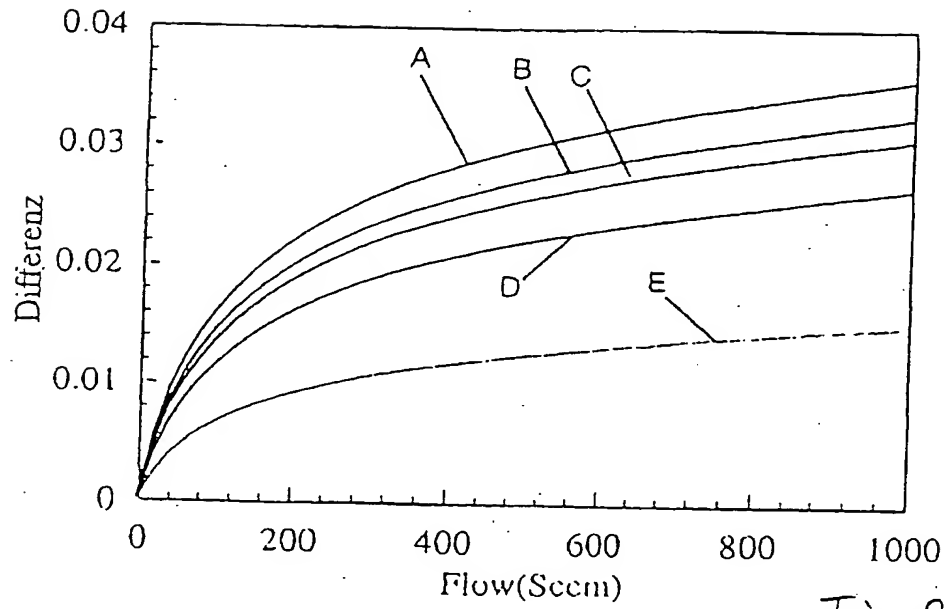


Fig. 2

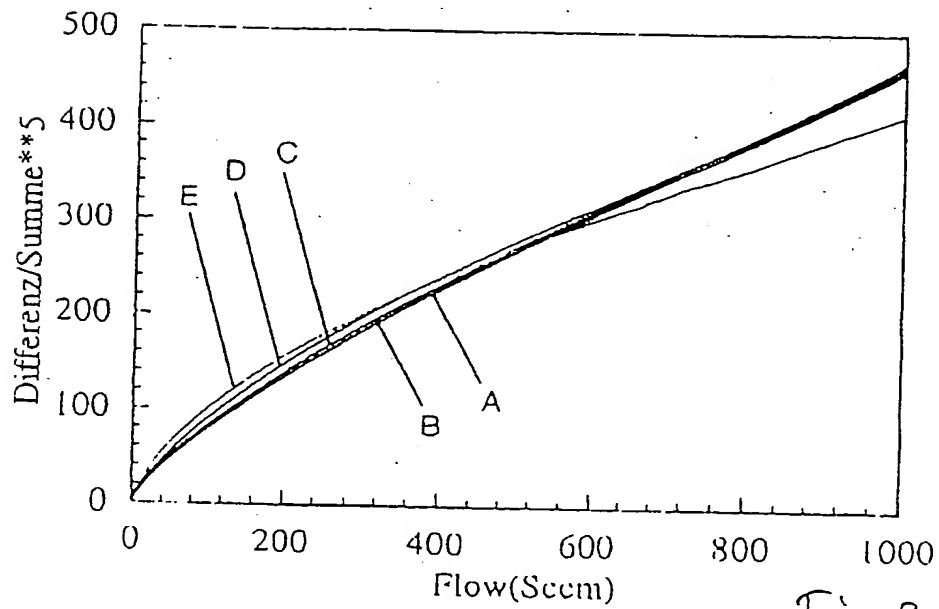


Fig. 3

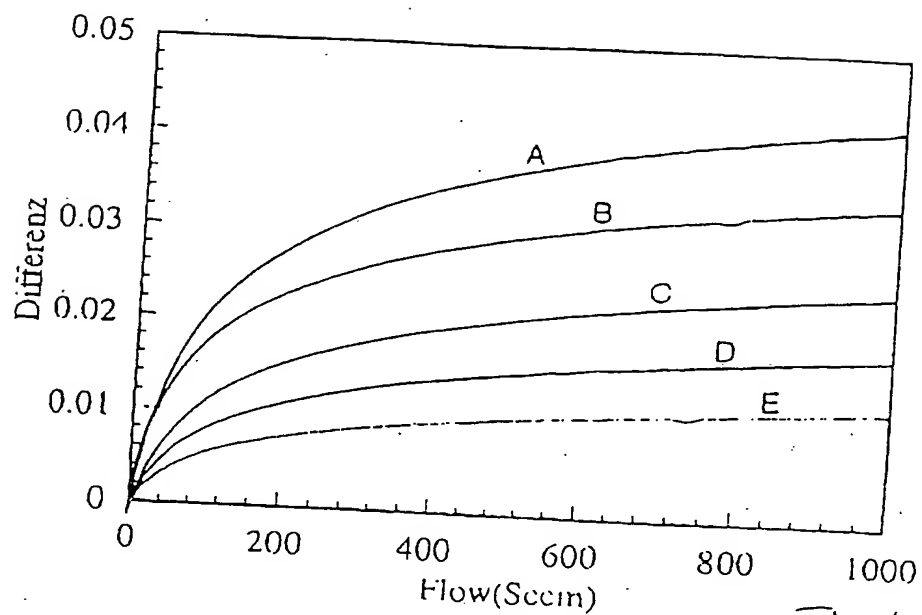


Fig. 4

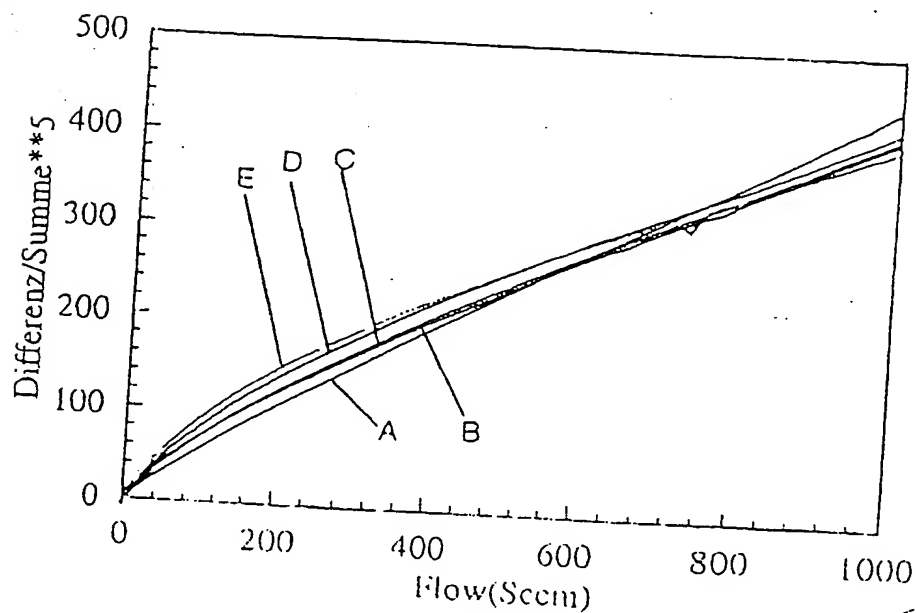


Fig. 5